

Rec'd PCT/PTO 15 APR 2005

0/531485

PCT/JP 2004/010947

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

19.08.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年10月 8日

出願番号
Application Number: 特願2003-350018
[ST. 10/C]: [JP 2003-350018]

出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

REC'D 07 OCT 2004

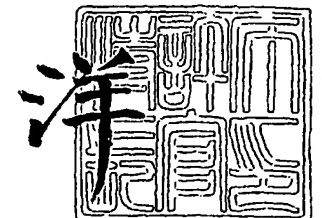
WIPO PCT

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

2004年 9月24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH156391
【提出日】 平成15年10月 8日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01S 3/07
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 鈴木 博之
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 遊部 雅生
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 西田 好毅
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 宮澤 弘
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 吉野 薫
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 湯本 潤司
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 忠永 修
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 柳川 勉
【特許出願人】
 【識別番号】 000004226
 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100077481
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 谷 義一
【選任した代理人】
 【識別番号】 100088915
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 阿部 和夫
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 013424
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9701393

【書類名】特許請求の範囲

【請求項1】

波長 λ_1 のレーザ光を発生する第1のレーザと、波長 λ_2 のレーザ光を発生する第2のレーザと、前記波長 λ_1 のレーザ光と前記波長 λ_2 のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ の関係にある和周波の波長 λ_3 を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶とを含むレーザ光源において、

前記波長 λ_1 は 940 ± 10 nmであり、前記波長 λ_2 は 1320 ± 20 nmであり、前記和周波の波長 λ_3 は、黄色領域に相当する波長 546.1 ± 5.0 nmであることを特徴とするレーザ光源。

【請求項2】

波長 λ_1 のレーザ光を発生する第1のレーザと、波長 λ_2 のレーザ光を発生する第2のレーザと、前記波長 λ_1 のレーザ光と前記波長 λ_2 のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ の関係にある和周波の波長 λ_3 を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶とを含むレーザ光源において、

前記波長 λ_1 は 980 ± 10 nmであり、前記波長 λ_2 は 1320 ± 20 nmであり、前記和周波の波長 λ_3 は、黄色領域に相当する波長 560.0 ± 5.0 nmであることを特徴とするレーザ光源。

【請求項3】

波長 λ_1 のレーザ光を発生する第1のレーザと、波長 λ_2 のレーザ光を発生する第2のレーザと、前記波長 λ_1 のレーザ光と前記波長 λ_2 のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ の関係にある和周波の波長 λ_3 を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶とを含むレーザ光源において、

前記波長 λ_1 は 1064 ± 10 nmであり、前記波長 λ_2 は 1320 ± 20 nmであり、前記和周波の波長 λ_3 は、黄色領域に相当する波長 585.0 ± 5.0 nmであることを特徴とするレーザ光源。

【請求項4】

波長 λ_1 のレーザ光を発生する第1のレーザと、波長 λ_2 のレーザ光を発生する第2のレーザと、前記波長 λ_1 のレーザ光と前記波長 λ_2 のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ の関係にある和周波の波長 λ_3 を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶とを含むレーザ光源において、

前記波長 λ_1 は 940 ± 10 nmであり、前記波長 λ_2 は 1550 ± 30 nmであり、前記和周波の波長 λ_3 は、黄色領域に相当する波長 585.0 ± 5.0 nmであることを特徴とするレーザ光源。

【請求項5】

前記非線形光学結晶は、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 における屈折率を、それぞれ n_1 、 n_2 、 n_3 とすると、

$$2\pi n_3 / \lambda_3 = 2\pi n_1 / \lambda_1 + 2\pi n_2 / \lambda_2 + 2\pi n_2 / \Lambda$$

を満たすような周期 Λ の周期的な分極反転構造を有することを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ光源。

【請求項6】

前記非線形光学結晶は、導波路構造をさらに有することを特徴とする請求項5に記載のレーザ光源。

【請求項7】

前記第2のレーザは、DFBレーザであることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ光源。

【請求項8】

前記第1および第2のレーザの各々の出力に結合される2つの偏波面保持ファイバと、該2つの偏波面保持ファイバの出力を合波し、前記非線形光学結晶に結合する合波器とを備えたことを特徴とする請求項1ないし7のいずれかに記載のレーザ光源。

【請求項9】

前記第 1 および第 2 の励起レーザは、半導体レーザであり、
前記 2 つの偏波面保持ファイバは、少なくとも一方がファイバブラッググレーティング
を有することを特徴とする請求項 8 に記載のレーザ光源。

【請求項 10】

前記第 1 および第 2 のレーザの少なくとも一方は、前記偏波面保持ファイバと結合する
端面は、反射率を 2 % 以下とし、該端面の反対側の端面の反射率を 9 0 % 以上としたこと
を特徴とする請求項 9 に記載のレーザ光源。

【書類名】明細書

【発明の名称】レーザー光源

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザー光源に関し、より詳細には、レーザーと非線形光学結晶とを用いて、高効率に黄色領域のコヒーレント光を発生するレーザー光源に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、共焦点レーザービームにより試料を走査し、光学的断層像を得るレーザー顕微鏡が知られている。レーザー顕微鏡は、蛍光標識された物質の組織・細胞内分布解析に用いられている。また、一列に並んだ細胞の流れにレーザービームを照射し、蛍光強度に応じて細胞を分析・分取するフローサイトメータが知られている。フローサイトメータは、細胞の性質、例えば大きさ、DNA含有量等を光学的パラメータとして定性的に識別するフローサイトメトリ法を用いた測定装置である。

【0003】

近年、蛍光標識として蛍光色素が用いられているが、蛍光色素は、細胞にとって異物であるため、細胞の性質に影響を与えたり、細胞が死滅するなどの問題があった。そこで、クラゲなどから抽出した緑色蛍光タンパクにより、蛍光標識を行う方法が用いられている。また、緑色蛍光タンパクの突然変異や遺伝子操作によって、黄色、赤色の発光を示す蛍光タンパクも得られ（例えば、非特許文献1）、多色の蛍光を用いたより詳細な測定・分析が行われている。

【0004】

赤色蛍光タンパクは、波長560～590 nmに吸収極大を有するため（例えば、非特許文献1および2）、この波長帯域に発振波長を有するレーザー光源が望まれている。この波長帯域に発振波長を有するレーザーは、色素レーザーなどの大型レーザーだけであるため、代わりに532 nm固体レーザー、543 nm He-Ne レーザーが用いられている。しかしながら、これらの波長は、緑色蛍光タンパクの蛍光波長と黄色蛍光タンパクの吸収波長との重なりが顕著であるため、多色の蛍光タンパクを用いた測定・分析には不都合であった。

【0005】

最近になって、強い緑色レーザー光（波長530～560 nm）の照射により、72時間以上の長時間にわたり赤色蛍光を安定に発光するKindling赤色蛍光タンパクが報告されている（例えば、非特許文献3）。Kindling赤色蛍光タンパクを利用すると、細胞分裂の様子を蛍光によって長時間にわたり観測することができるなどの効果が期待される。しかし、従来の532 nm固体レーザー、543 nm He-Ne レーザーは、緑色蛍光タンパクの蛍光波長と黄色蛍光タンパクの吸収波長との重なりが顕著である。したがって、できるだけ560 nmに近い発振波長を有する小型の固体レーザーの実現が望まれている。

【0006】

また、金属ポルフィリンは、光合成、呼吸代謝などの動植物の生命活動で重要な機能を担うタンパク質に含まれる分子であり、波長590 nm付近に吸収極大を有する。これら金属ポルフィリンの発光波長は、600 nm付近にピークを示すために、波長589 nmのレーザーを用いると、発光波長とのオーバーラップが大きく測定が困難である。そこで、波長585.0 nmの黄橙色レーザーが必要とされている。

【0007】

さらに、水銀ランプの発する輝線の1つ（e線）に相当する波長546.1 nm（黄緑）は、人間の視感度が一番高い波長であり、光学ガラスの屈折率標準の波長として使用されている。以上のように、500 nm～600 nmの黄色領域において、高効率、高安定のレーザー光源が必要とされる。

【0008】

【特許文献1】特公平4-507299号公報

【非特許文献1】G.Patterson et al., J. Cell Sci. No.114, pp.837-838 (2001)

【非特許文献 2】 A.F.Fradkov et al., Biochem. J. No.36, pp.17-21 (2002)

【非特許文献 3】 D.M.Chudakov et al., Nat. Biotechnol. No.21, pp.191-194 (2003)

【非特許文献 4】 A.Yariv, "Quantum Electronics", 3rd Ed., pp.392-398 (1988)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、半導体レーザは、500nm以下または620nm以上の波長領域でしか実用化されていない。500nm～620nmの波長領域においては、ファイバレーザ、Nd-YAGレーザの第二高調波発生法によって、特定の波長の固体レーザが実現されているものの、任意の波長の固体レーザは、未だ実現されていない。

【0010】

一方、可視域のコヒーレントな光を発生する方法として、非線形結晶を用いた第二高調波発生法(SHG法)が知られている。この方法により、黄色領域の光を発生するためには、波長1092.2nm、1120.0nmまたは1170.0nmの光源を必要とする。残念ながら、これらの波長は、半導体レーザで発振することができるものの、必要な出力を得ることが出来るレーザを入手することが非常に困難である。

【0011】

また、非線形結晶を用い2つの励起レーザ光の和周波を発生し、可視光を得ることもできる。この方法では、和周波光のエネルギーは、2つの励起光のエネルギーの和で与えられる。所望の波長の和周波を得るために、2つの励起光の波長の組み合わせの自由度が広がるという利点もある。したがって、任意の波長のレーザを実現するためには、最も実用的な方法である。しかしながら、一般に非線形光学現象は、効率が低いという問題があった。この問題を解決するためには、非線形光学結晶の特性改善と共に、高励起光強度が得られ、さらに、小型化、低消費電力な既存レーザ装置の選択が重要となる。

【0012】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、線幅が狭く平行性に優れ、エネルギー効率が高い、黄色領域のコヒーレント光を発生するレーザ光源を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、波長 λ_1 のレーザ光を発生する第1のレーザと、波長 λ_2 のレーザ光を発生する第2のレーザと、前記波長 λ_1 のレーザ光と前記波長 λ_2 のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ の関係にある和周波の波長 λ_3 を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶とを含むレーザ光源において、前記波長 λ_1 は 940 ± 10 nmであり、前記波長 λ_2 は 1320 ± 20 nmであり、前記和周波の波長 λ_3 は、黄色領域に相当する波長 546.1 ± 5.0 nmであることを特徴とする。

【0014】

請求項2に記載の発明は、波長 λ_1 のレーザ光を発生する第1のレーザと、波長 λ_2 のレーザ光を発生する第2のレーザと、前記波長 λ_1 のレーザ光と前記波長 λ_2 のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ の関係にある和周波の波長 λ_3 を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶とを含むレーザ光源において、前記波長 λ_1 は 980 ± 10 nmであり、前記波長 λ_2 は 1320 ± 20 nmであり、前記和周波の波長 λ_3 は、黄色領域に相当する波長 560.0 ± 5.0 nmであることを特徴とする。

【0015】

請求項3に記載の発明は、波長 λ_1 のレーザ光を発生する第1のレーザと、波長 λ_2 のレーザ光を発生する第2のレーザと、前記波長 λ_1 のレーザ光と前記波長 λ_2 のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ の関係にある和周波の波長 λ_3 を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶とを含むレーザ光源において、前記波長 λ_1 は10

64±10nmであり、前記波長 λ_2 は1320±20nmであり、前記和周波の波長 λ_3 は、黄色領域に相当する波長585.0±5.0nmであることを特徴とする。

【0016】

請求項4に記載の発明は、波長 λ_1 のレーザ光を発生する第1のレーザと、波長 λ_2 のレーザ光を発生する第2のレーザと、前記波長 λ_1 のレーザ光と前記波長 λ_2 のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ の関係にある和周波の波長 λ_3 を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶とを含むレーザ光源において、前記波長 λ_1 は940±10nmであり、前記波長 λ_2 は1550±30nmであり、前記和周波の波長 λ_3 は、黄色領域に相当する波長585.0±5.0nmであることを特徴とする。

【0017】

請求項5に記載の発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載の前記非線形光学結晶は、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 における屈折率を、それぞれ n_1 、 n_2 、 n_3 とすると、

$$2\pi n_3 / \lambda_3 = 2\pi n_1 / \lambda_1 + 2\pi n_2 / \lambda_2 + 2\pi n_2 / \Lambda$$

を満たすような周期 Λ の周期的な分極反転構造を有することを特徴とする。

【0018】

請求項6に記載の発明は、請求項5に記載の前記非線形光学結晶は、導波路構造をさらに有することを特徴とする。

【0019】

請求項7に記載の発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載の前記第2のレーザは、DFBレーザであることを特徴とする。

【0020】

請求項8に記載の発明は、請求項1ないし7のいずれかに記載のレーザ光源において、前記第1および第2のレーザの各々の出力に結合される2つの偏波面保持ファイバと、該2つの偏波面保持ファイバの出力を合波し、前記非線形光学結晶に結合する合波器とを備えたことを特徴とする。

【0021】

請求項9に記載の発明は、請求項8に記載の前記第1および第2の励起レーザは、半導体レーザであり、前記2つの偏波面保持ファイバは、少なくとも一方がファイバブラッググレーティングを有することを特徴とする。

【0022】

請求項10に記載の発明は、請求項9に記載の前記第1および第2のレーザの少なくとも一方は、前記偏波面保持ファイバと結合する端面は、反射率を2%以下とし、該端面の反対側の端面の反射率を90%以上としたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0023】

以上説明したように、本発明によれば、非線形光学結晶の特性改善と共に、既存レーザ装置の選択により、黄色領域のコヒーレント光を、高効率、高安定で発生させることができ、レーザ光源の小型化、屈折率測定の精度向上を図ることが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

図1に、本発明の一実施形態にかかる黄色領域のレーザ光源を示す。レーザ光源10は、非線形光学結晶を励起するための2つの励起レーザ11、12と、和周波を発生するための非線形光学結晶13とからなる。

【0025】

非線形結晶を用いた和周波発生では、和周波光の波長 λ_3 は、2つの励起光の波長 λ_1 、 λ_2 とすると、

$$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 \quad (1)$$

で与えられる。黄色領域に相当する和周波光を発生するためには、(1)式において $\lambda_3 = 546.1\text{nm}$ 、 560.0nm または 585.0nm となる λ_1 、 λ_2 を選び、2つ

の波長の励起レーザーと非線形光学結晶とを組み合わせる必要がある。

【0026】

また、和周波光の発生効率を高めるためには、非線形結晶内における2つの入射光 (λ_1 、 λ_2) と和周波光 (λ_3) の伝搬定数 $k_i = 2\pi n_i / \lambda_i$ ($i=1, 2, 3$) の間に、

$$k_3 = k_1 + k_2 \quad (2)$$

が成立しなければならない。ここで、 n_i は λ_i における非線形結晶の屈折率である。しかし、光学媒質に分散特性が存在するために、特定の条件の場合のみ (2) 式を満足する。具体的には、入射光あるいは和周波光の何れか1つの偏光方向を変え、常光屈折率と異常光屈折率とを用いる方法がある (例えば、非特許文献4)。また、非線形光学結晶に周期的な分極反転構造を形成し、擬位相整合によって変換効率の高効率化を図る方法が用いられている (米国特許第5,036,220号および対応する日本国出願の特許文献1)。

【0027】

和周波光の発生強度は、2つの励起レーザー強度の積に比例するため、2つの励起レーザーの選択は、それらの波長の組み合わせが (1) 式を満足し、さらにより高強度のレーザーを用いる。既存の半導体レーザー (例えば、<http://laserfocusworld.365media.com/laserfocusworld/searchResult.asp?cat=48903/&d=453&st=1>にまとめられている。) のうち、大出力が実現されている波長帯は、(1) 940 nm帯、(2) 980 nm帯、(3) 1060 nm帯、(5) 1480 nm帯である。また、(4) 1300 nm帯、(6) 1550 nm帯でも100 mW級の半導体レーザーが開発されている。特に、(4)、(5)、(6) の領域では、DFB (Distributed FeedBack) レーザーが開発されており、シングル縦モード発振、波長安定化が実現されている。また、800 nm~880 nmの領域でも高出力半導体レーザーが開発されているが、この領域の半導体レーザーを励起レーザー1として用いると、励起レーザー2の波長は、およそ1600 nm以上となる。このような長波長領域で、大出力かつ信頼性の高い半導体レーザーの実現は困難であることから、除外する。

【0028】

図2に、黄色領域の波長を和周波発生により得るための励起レーザー1と励起レーザー2の波長の関係を示す。励起用レーザー1の波長を λ_1 とし、励起用レーザー2の波長を λ_2 とし、和周波光を得るための関係を曲線30で示した。また、上記(1)から(6)の励起レーザー1の領域を1-(1)、1-(2)、1-(3)、1-(4)、1-(5)、1-(6)としてハッチングを施した。併せて、上記(1)から(6)の励起レーザー2の領域を2-(1)、2-(2)、2-(3)、2-(4)、2-(5)、2-(6)としてハッチングを施して示した。なお、(1)から(6)の領域は、

- (1) 940 ± 10 nm
- (2) 980 ± 10 nm
- (3) 1060 ± 10 nm
- (4) 1280 nm ~ 1350 nm
- (5) 1480 ± 10 nm
- (6) 1530 nm ~ 1600 nm

とした。ここで、(4)は光通信におけるO帯であり、(6)はC帯である。この2つの波長帯は、波長多重通信技術(WDM)において、最も、広く使われている領域であり、大出力かつ高信頼性の半導体レーザーなどの光部品の入手が容易である。

【0029】

図2より、励起レーザー1と励起レーザー2とは、1-(1)から1-(6)のいずれかと2-(1)から2-(6)のいずれかが、 $\lambda_3 = 546.1$ nmとなる曲線21上で交差する組み合わせ、 $\lambda_3 = 560.0$ nmとなる曲線22上で交差する組み合わせ、または $\lambda_3 = 585.0$ nmとなる曲線23上で交差する組み合わせを用いることにより、和周波発生の高効率化が可能となる。

【0030】

1-(1) から 1-(6) のいずれかと 2-(1) から 2-(6) のいずれかが、曲線 21~23 上で交差する組み合わせは、励起レーザ 1 と励起レーザ 2 の波長を逆にしても、和周波波長は同じであることを考慮に入れる。その結果、(1) および (4) と、(2) および (4) と、(3) および (4) と、(1) および (6) との組み合わせを用いれば、黄色領域の波長を効率的に発生できることがわかる。

【0031】

一般に、レーザの形態として、シングルモード発振、マルチモード発振があるが、和周波発生光の特性は、2つの励起半導体レーザの特性で決まる。シングルモード発振を行うためには、2つの励起用半導体レーザもシングルモード発振させる必要がある。そのためには、DFB構造を有する半導体レーザ、またはファイバブラッググレーティングを共振器構造に用いたレーザの使用が必要となる。また、マルチモード発振の場合には、ファブリペロー型半導体レーザ、半値全幅 0.1 nm~0.5 nm 程度の反射スペクトラムを有するファイバグレーティングを共振器構造に適応した半導体レーザを用いることで実現することができる。

【0032】

非線形光学結晶としては、非線形光学定数が大きく、また励起に用いる 2つのレーザ波長と黄色領域の波長において透明であれば何でも良いが、ニオブ酸リチウム (LiNbO₃、LN)、タンタル酸リチウム (LiTaO₃、LT) などを具体例として挙げることができる。また、これらの非線形光学結晶は、高効率に和周波発生を行うために、周期的な分極反転構造と導波路構造とを有することが望ましい。すなわち、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 における非線形光学結晶の屈折率を、それぞれ n_1 、 n_2 、 n_3 とすると、

$$2\pi n_3 / \lambda_3 = 2\pi n_1 / \lambda_1 + 2\pi n_2 / \lambda_2 + 2\pi n_2 / \Lambda \quad (3)$$

を満たすような周期 Λ の周期的分極反転構造とすれば、和周波光の発生効率を最大にすることができる。

【0033】

また、非線形光学結晶に導波路を形成すれば、励起レーザからの入射光を周期的分極反転構造内に閉じ込めることができるので、高効率に和周波光を発生することができる。これらの構造は、それぞれ電界印加法、プロトン交換法、ドライエッチング法、またはダイシングソーによる機械加工法などによって実現することができる。

【0034】

また、和周波光を発生するために、2つの半導体レーザ光の結合、LN導波路への結合が必要になるが、これらの技術は、光通信用デバイス技術として確立しており、実現上大きな支障がないことも特徴である。

【実施例 1】

【0035】

図 3 に、本発明の実施例 1 にかかる黄色領域のレーザ光源を示す。レーザ光源は、2つの励起レーザ 40、41 と、周期的に分極反転させた LN 44 と、励起レーザ 40、41 のレーザ光をコリメートするレンズ 42a、42b と、2つのレーザ光を合波する合波器 43 と、LN 44 を透過した励起レーザ 40、41 のレーザ光と LN 44 で発生した和周波光とを分離するフィルタ 45 とから構成されている。

【0036】

励起レーザ 40 の波長 λ_1 と、励起レーザ 41 の波長 λ_2 とは、

$$1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/(546.1 \pm 5.0)$$

を満足するような組み合わせとする。さらに λ_1 、 λ_2 は、上述の (1) および (4) の組み合わせであり、

$$\lambda_1 = 940 \pm 10 \text{ nm}, \lambda_2 = 1320 \pm 20 \text{ nm}$$

を満足する範囲とする。 λ_2 の半導体レーザは DFB レーザでもよい。

【0037】

励起レーザ 40 の波長 $\lambda_1 = 940 \text{ nm}$ 、LN 44 への入射強度を 40 mW とし、励起レーザ 41 の $\lambda_2 = 1320 \text{ nm}$ 、LN 44 への入射強度を 70 mW としたとき、波長 λ

$\lambda_3 = 546.1 \text{ nm}$ 、出力 $20 \mu\text{W}$ の和周波光が得られた。

【実施例 2】

【0038】

図 4 に、本発明の実施例 2 にかかる黄色領域のレーザ光源を示す。実施例 1 のレーザ光源との相違は、非線形光学結晶にある。非線形光学結晶は、LN 結晶を導波路化された周期的分極反転 LN 導波路 51 を用いる。また、入射レーザ光を周期的分極反転 LN 導波路 51 に効率よく結合するためのレンズ 50 と、および周期的分極反転 LN 導波路 51 からの出射光をコリメートするレンズ 52 とを有している。

【0039】

励起レーザ 40 の波長 $\lambda_1 = 940 \text{ nm}$ 、LN 44 への入射強度を 40 mW とし、励起レーザ 41 の $\lambda_2 = 1320 \text{ nm}$ 、LN 44 への入射強度を 70 mW としたとき、波長 $\lambda_3 = 546.1 \text{ nm}$ 、出力 10 mW の和周波光が得られた。

【実施例 3】

【0040】

実施例 1 および実施例 2 の構成（図 3、図 4）において、励起レーザ 40 を、波長 1064 nm 近傍の Nd イオンを用いたレーザ（例えば、Nd:YAG レーザ）とし、励起レーザ 41 を $1320 \pm 20 \text{ nm}$ の半導体レーザとする。従って、上述した（3）および（4）の組み合わせとなって、波長 $\lambda_3 = 585.0 \text{ nm}$ の黄色領域の和周波光を得ることができる。

【実施例 4】

【0041】

図 5 に、本発明の実施例 4 にかかる黄色領域のレーザ光源を示す。実施例 2 の構成において、2 つのレーザ光を周期的分極反転 LN 導波路 51 に結合するために、偏波面保持ファイバ（またはシングルモードファイバ）61、63 と、合波器 62 とを用いた。偏波面保持ファイバ 63 からの放射される光は、周期的分極反転 LN 導波路 51 の端面に直接入射するか、またはレンズ 64 によって結合する。

【実施例 5】

【0042】

図 6 に、本発明の実施例 5 にかかる黄色領域のレーザ光源を示す。実施例 4 のさらなる応用例である。励起レーザ 70、71 は、出射側端面 70a、71a に反射率 2% 以下の AR コートを施し、反対側の端面 70b、71b に反射率 90% 以上の HR コートを施す。励起レーザ 70、71 の出力は、レンズ 72a、72b を介して、端面あるいはファイバの途中にファイバブラッググレーティングを形成した偏波面保持ファイバ（またはシングルモードファイバ）73、74 に結合される。このようにして、端面 70b、71b の HR コーティングとファイバブラッググレーティングとの間で共振器を構成する。

【0043】

それぞれのレーザの発振波長は、ファイバブラッググレーティングの反射スペクトラムによって制御する。このとき、ファイバブラッググレーティング反射スペクトラムの中心波長は、

$940 \pm 10 \text{ nm}$ 、 $1320 \pm 20 \text{ nm}$

$980 \pm 10 \text{ nm}$ 、 $1320 \pm 20 \text{ nm}$

$1064 \pm 10 \text{ nm}$ 、 $1320 \pm 20 \text{ nm}$

$940 \pm 10 \text{ nm}$ 、 $1550 \pm 30 \text{ nm}$

のいずれかとし、その線幅（半値全幅）は 0.3 nm 以下とする。

【産業上の利用可能性】

【0044】

本実施形態によれば、エネルギー効率がよく、小型化、低消費電力なレーザ光源を採用することにより、小型で経済的なレーザ顕微鏡、フローサイトメータなどを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】本発明の一実施形態にかかる黄色領域のレーザ光源を示す構成図である。

【図2】黄色領域の波長を和周波発生により得るための励起レーザ1と励起レーザ2の波長の関係を示す図である。

【図3】本発明の実施例1にかかる黄色領域のレーザ光源の構成図である。

【図4】本発明の実施例2にかかる黄色領域のレーザ光源の構成図である。

【図5】本発明の実施例4にかかる黄色領域のレーザ光源の構成図である。

【図6】本発明の実施例5にかかる黄色領域のレーザ光源の構成図である。

【符号の説明】

【0046】

20 レーザ光源

21, 22, 40, 41 励起レーザ

23 非線形光学結晶

42a, 42b, 50, 52, 64 レンズ

43, 62 合波器

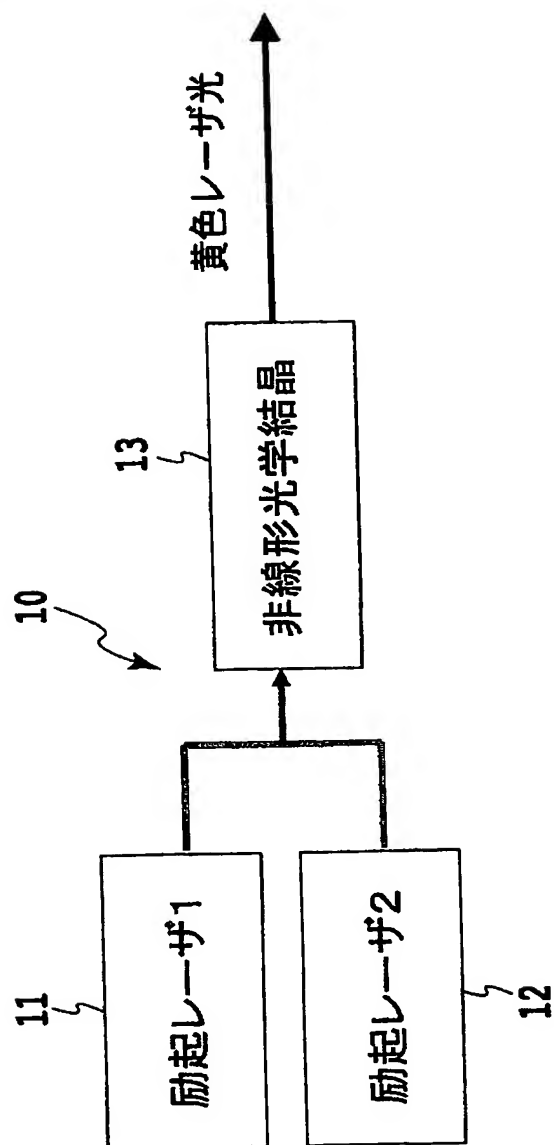
44 LN

51 周期的分極反転LN導波路

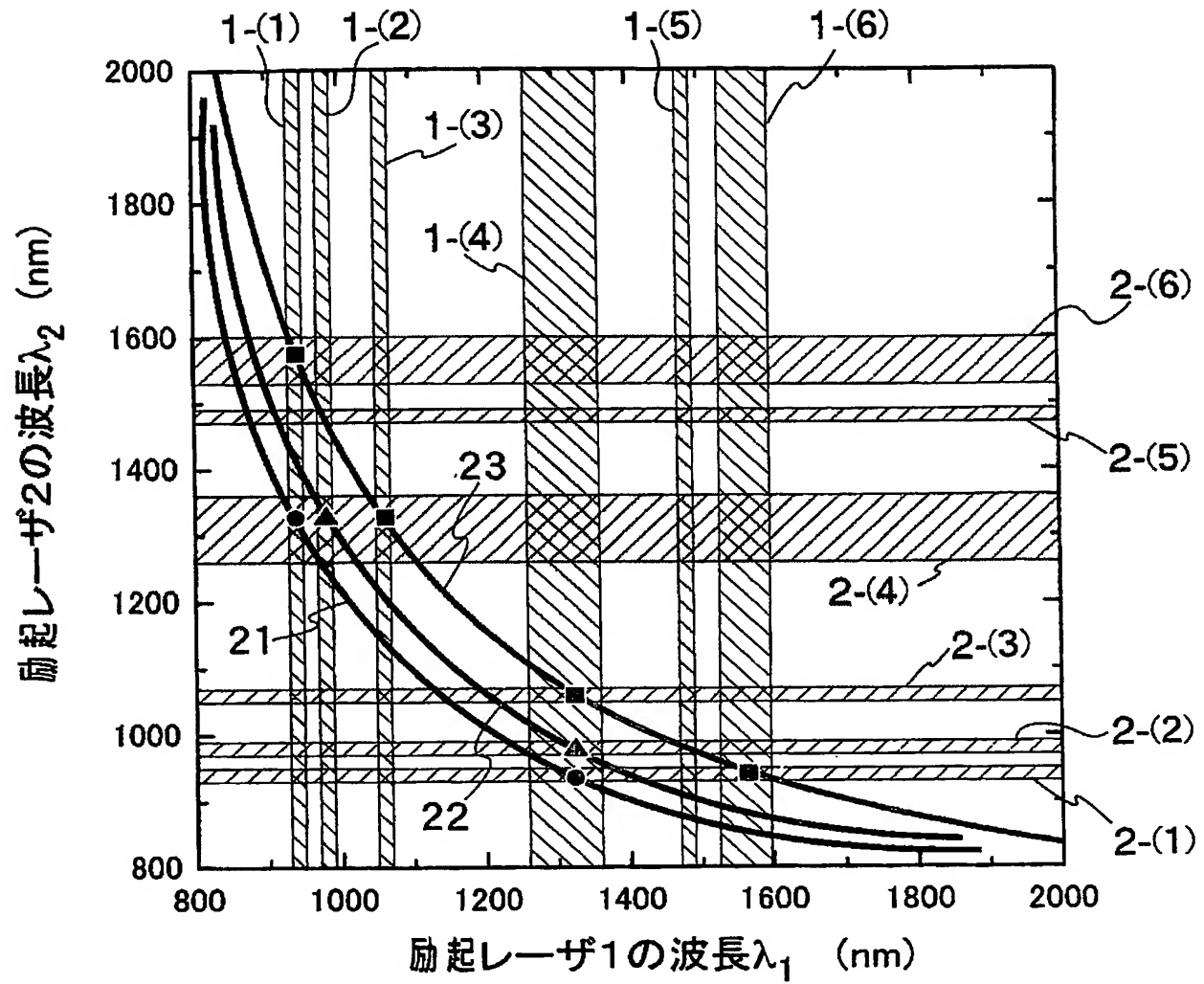
61a, 61b, 63 偏波面保持ファイバ

【書類名】 図面

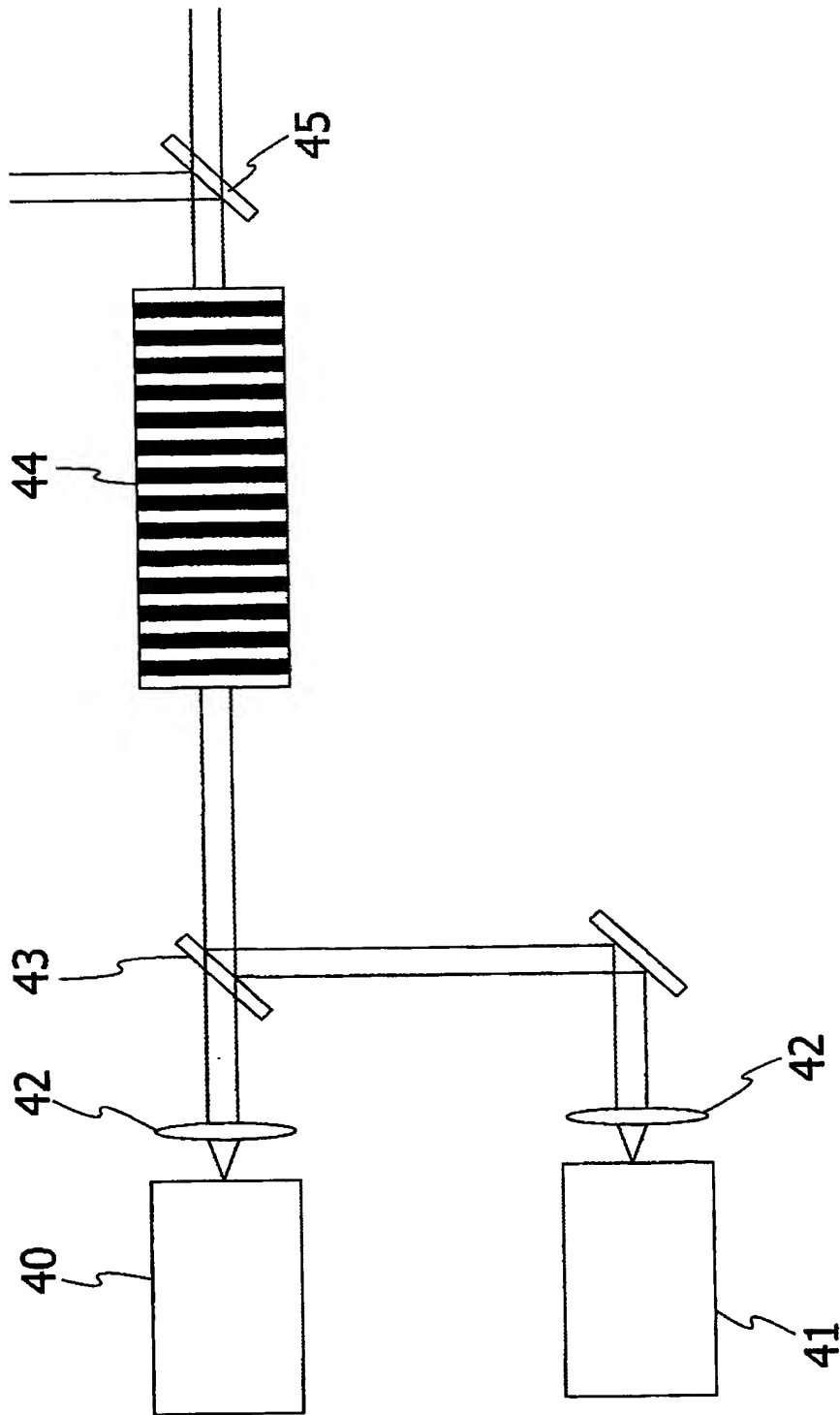
【図1】



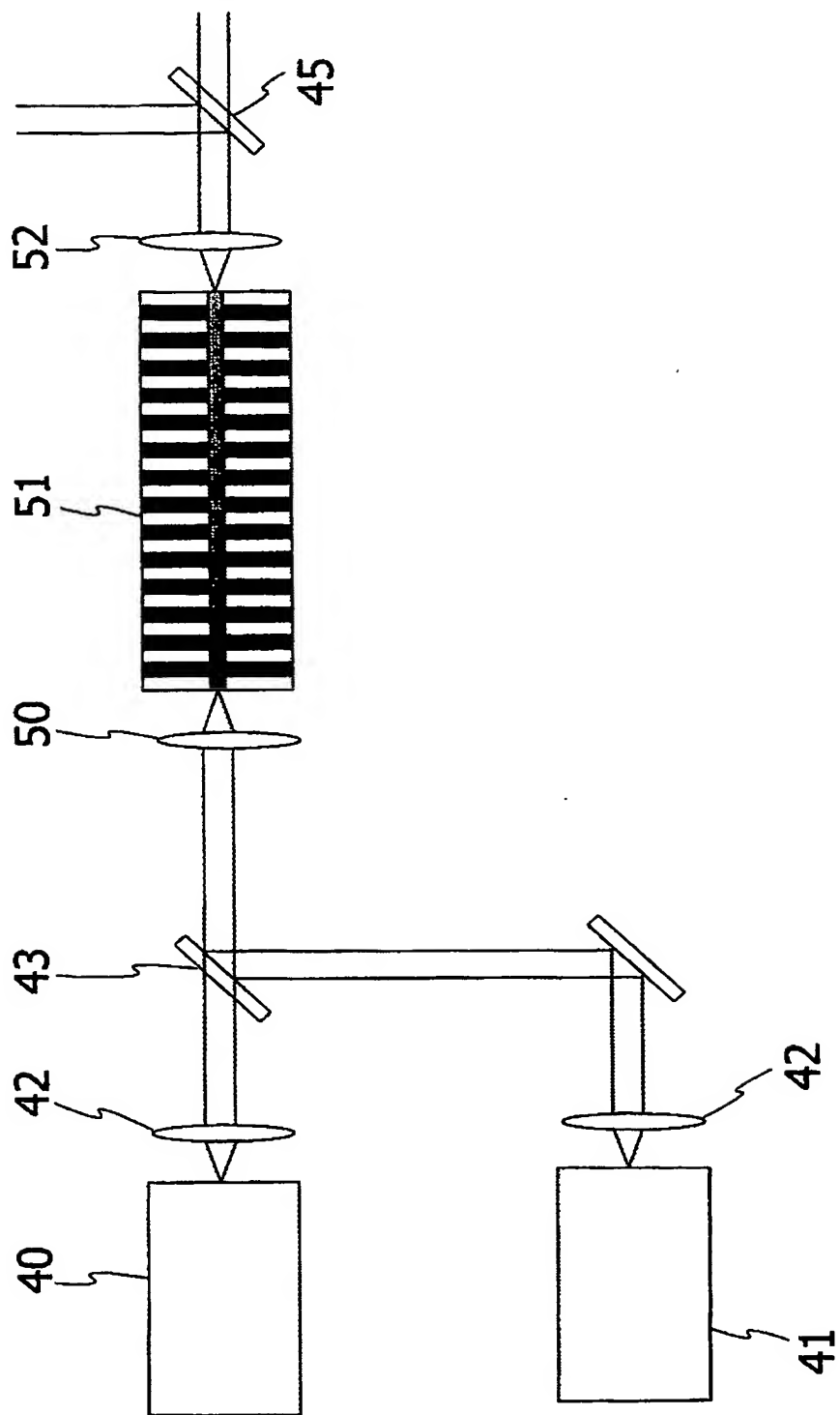
【図 2】



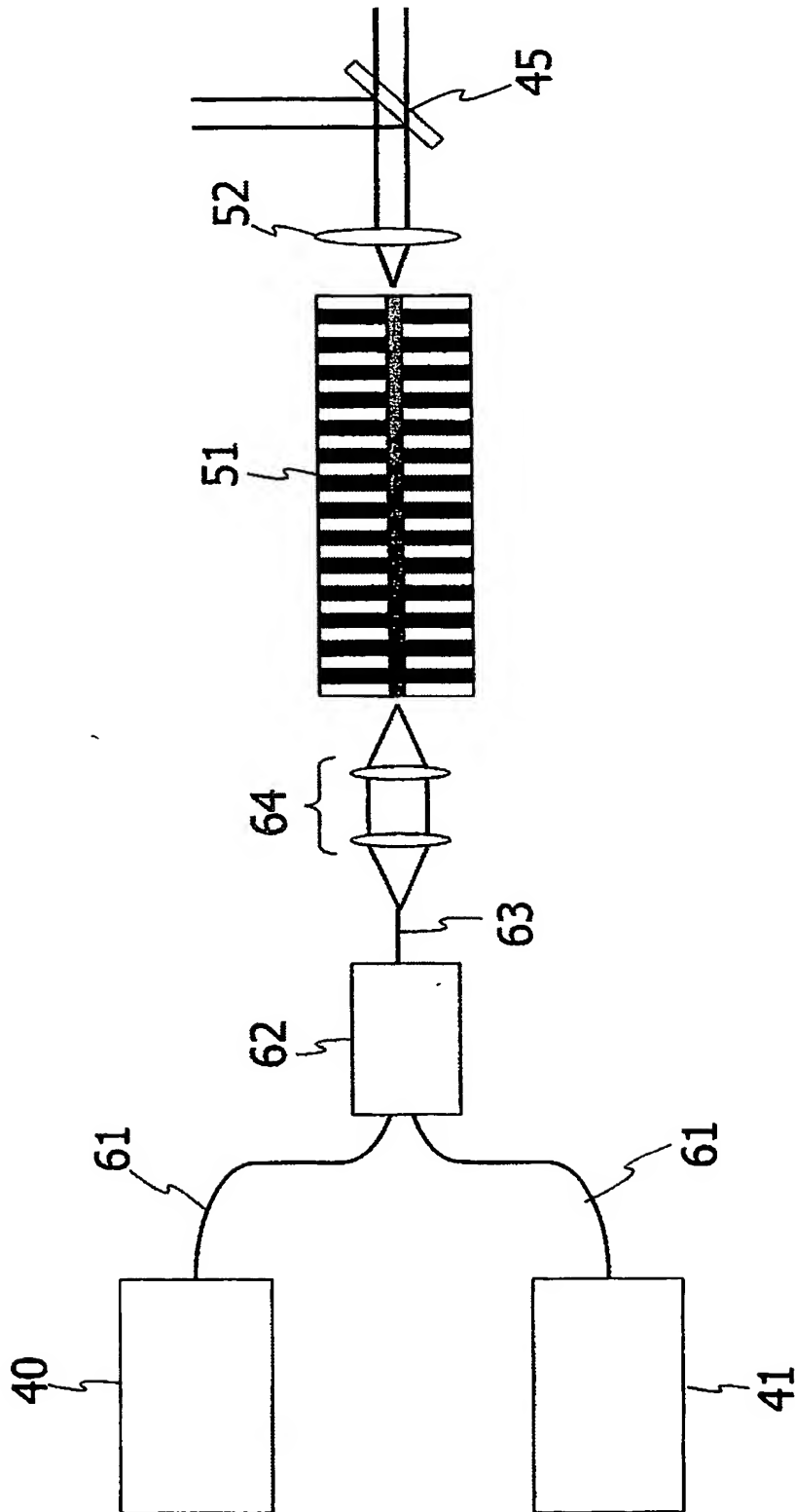
【図 3】



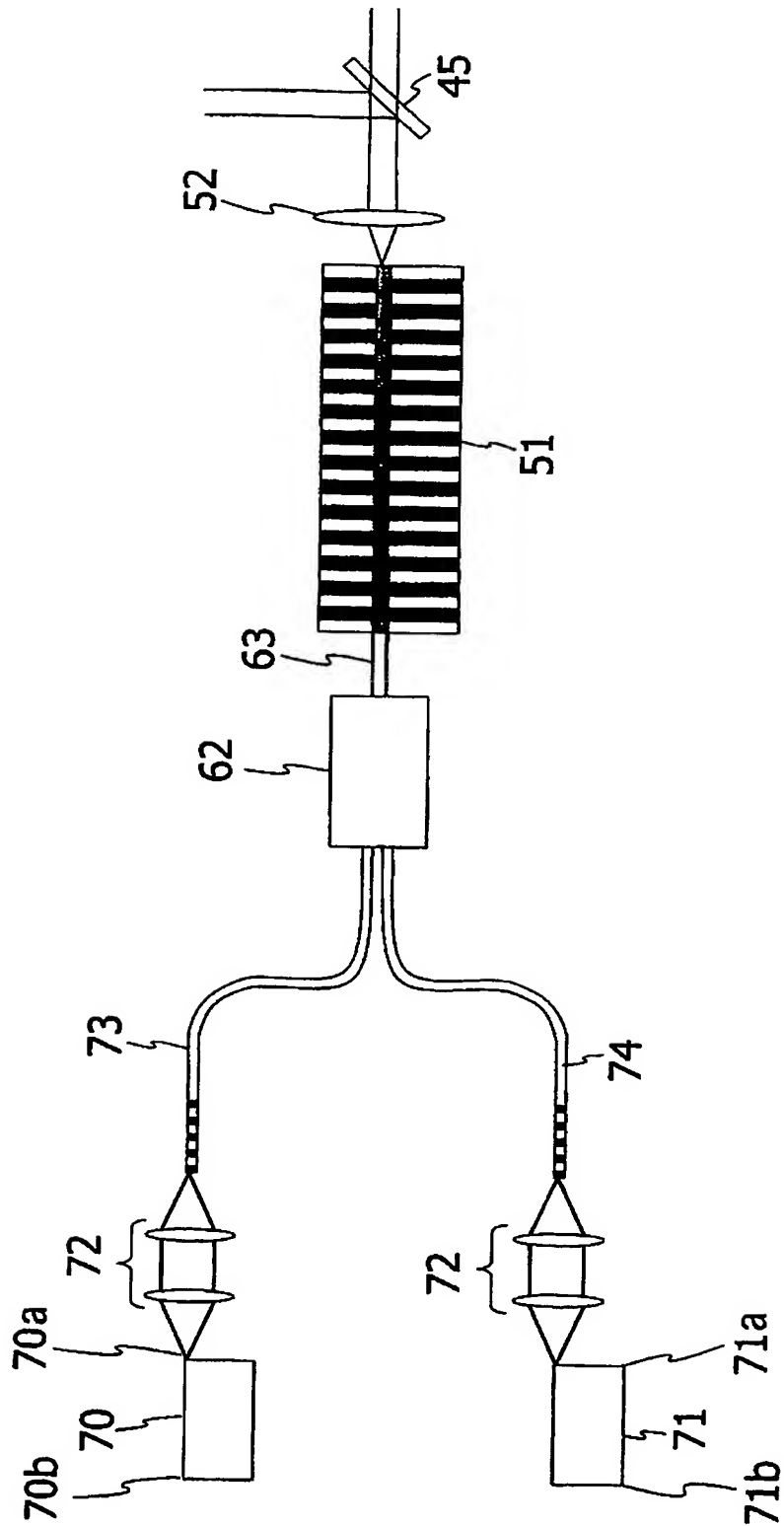
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約

【要約】

【課題】 線幅が狭く平行性に優れ、エネルギー効率が高い、黄色領域の波長のコヒーレント光を発生するレーザー光源を提供する。

【解決手段】 2つの励起レーザー40、41と、周期的に分極反転させたLN44と、励起レーザー40、41のレーザー光をコリメートするレンズ42a、42bと、2つのレーザー光を合波する合波器43と、LN44を透過した励起レーザー40、41のレーザー光とLN44で発生した和周波光とを分離するフィルタ45とを備えた。非線形光学結晶44から出力される和周波光は、黄色領域に相当するコヒーレント光（波長546.1nm、560.0nmまたは585.0nm）を発生する。非線形光学結晶44は、さらに導波路構造を有しても良い。

【選択図】 図3

特願 2 0 0 3 - 3 5 0 0 1 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社